A DINÂMICA DO PULSO DE INUNDAÇÃO: APLICAÇÕES DE SENSORIAMENTO REMOTO NA ESTIMATIVA DA ÁREA DE EXPANSÃO DOS SISTEMAS LACUSTRES DA PLANÍCIE ALUVIAL DO RIO AMAZONAS

Andreia Maria da Silva FRANÇA[1]
Teresa Gallotti FLORENZANO[2]
Evlyn Márcia Leão de Moraes NOVO[3]

RESUMO

A planície aluvial do Rio Amazonas comporta um complexo sistema de lagos de distintos tipos, os quais formam um intrincado mosaico e são essenciais para a sustentabilidade dos recursos pesqueiros da Amazônia, pois se comportam como um grande sistema físico aberto, recebendo e transferindo energia simultaneamente. Os lagos armazenam a água e o sedimento transportados pelo rio durante as cheias, possibilitando o equilíbrio do sistema como um todo, e atuando como berço para uma grande biodiversidade aquática. Com a vazante, muitos peixes deixam os lagos e campos e formam cardumes para migrar rio acima. A natureza cambiante desses sistemas é influenciada pelos pulsos de inundação que determina fases terrestres e aquáticas distintas, expandindo e contraindo a área ocupada pelos lagos. Esta expansão em área exerce grande influencia em outros ecossistemas alagáveis, reduzindo as áreas ocupadas por florestas, campos inundáveis, chavascais e outros ambientes. Durante o curso de um ciclo de inundação, um terreno baixo pode estar sujeito a condições que são típicas de um habitat terrestre úmido, um corpo d´água raso, um lago, e um canal de rio. Quando ocorre o recuo d´água este tipo de terreno está sujeito a uma transição inversa. É nesse contexto que se insere este trabalho que tem como objetivo principal estimar a área de expansão dos lagos em função dos pulsos de inundação e da dinâmica sazonal do Rio Amazonas. A área de estudo selecionada compreende o setor da planície de inundação do Rio Amazonas, que se estende do rio Madeira ao rio Tapajós. Para a realização deste trabalho foi utilizado um conjunto de dados de radar da banda L (imagens JERS-1/SAR) e dados ópticos do sensor MOD09 do satélite TERRA, referentes às épocas de cheia e de vazante do Rio Amazonas.

INTRODUÇÃO

O estudo da planície aluvial do Rio Amazonas é um desafio, devido à sua dimensão semi-continental, à imensa diversidade natural e cultural e às dificuldades impostas pela floresta equatorial e por áreas alagadas, lagos e imensos rios, o que exige a ajuda da tecnologia, especialmente a espacial (Novo et al., 1998).

Embora os problemas a que está sendo submetido este sistema fluvial, sejam freqüentemente citados na mídia, pouco é conhecido a respeito de sua dinâmica hidro/geomorfológica. Estima-se que a superfície ocupada por, apenas um dos tipos de ecossistemas alagáveis da Amazônia, a planície de inundação dos grandes rios da Amazônia central, possui uma área de aproximadamente 300.000 Km^2 (Junk e Weber, 1996; Melack, 1984).

[1] Mestre pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, geo_andrass@yahoo.com.br
[2] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Pesquisador Sênior, evlyn@ltid.inpe.br
[3] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Pesquisador Sênior, evlyn@ltid.inpe.br

Muitos organismos aquáticos e terrestres, endêmicos da Amazônia, dependem das áreas alagáveis para seu habitat e se alimentarem em estágios críticos ao longo de suas vidas (Forsberg et al., 2000). Uma grande variedade de peixes, pássaros, répteis e espécies de primatas alimentam de frutos e sementes produzidas pelas árvores e gramíneas durante a estação cheia (Goulding, 1990). Outras faunas aquáticas alimentam de invertebrados, detritos e algas associadas à vegetação inundável (Junk, 1973; Goulding et al., 1998). Grandes variedades de espécies comerciais da Amazônia só são encontradas nestes ambientes alagáveis. A vegetação deste ecossistema também é um importante refugio para larvas de peixes e outros pequenos organismos de predadores vertebrados. A distribuição destas espécies está efetivamente ligada e associada a este ecossistema (Forsberg et al., 2000).

A planície aluvial do Rio Amazonas comporta um complexo sistema de lagos de distintos tipos, os quais formam um intrincado mosaico que sustenta uma grande biodiversidade, assim como possui um papel fundamental no comportamento morfo/hidráulico do sistema fluvial principal, o Rio Amazonas.

Vários pesquisadores destacam a importância dos sistemas lacustres na questão do manejo dos recursos hidrícos na Amazônia (Melack, 1984; Sieppel et al. 1992). Segundo Sieppel et al. (1992), os lagos ocupam cerca de 11% da calha do Rio Amazonas que inclui 62.000 Km2 de várzea. Estes ambientes são componentes importantes das áreas inundáveis e essenciais para a sustentabilidade dos recursos pesqueiros da Amazônia, pois se comportam como um grande sistema físico aberto, recebendo e transferindo energia simultaneamente.

A principal dinâmica ecológica da planície de inundação é o pulso de inundação (Junk, 1989). O conceito de pulsos de inundação é baseado nas características hidrológicas do rio, sua bacia de drenagem e sua planície de inundação (Junk, 1997). Segundo Junk (1989), as planícies de inundação são áreas que recebem periodicamente o aporte lateral das águas de rios, lagos, da precipitação direta ou de lençóis subterrâneos, sendo de particular interesse na região amazônica aquelas associadas a rios e lagos.

Os lagos armazenam a água e o sedimento transportados pelo rio durante as cheias, possibilitando o equilíbrio do sistema como um todo, e atuando como berço para uma grande biodiversidade aquática. Com a subida da água, os peixes invadem os campos e as florestas, alimentando-se dos organismos que ocupam esses ambientes. Muitas espécies de plantas se reproduzem nessa época, criando uma importante fonte de alimentos para os animais aquáticos. Com a vazante, muitos peixes deixam os lagos e campos e formam cardumes para migrar rio acima (Junk, 1997).

As implicações decorrentes da regularidade do padrão de inundação, e da sua duração, são de importância ecológica sendo de sua responsabilidade as modificações anuais do ambiente, determinando fases terrestre e aquática distintas (Junk, 1997).

Devido a esta característica cambiante, as planícies de inundação ocupam uma posição intermediária entre sistema aberto, sistema de transporte, sistema fechado e sistema acumulativo. O período de acumulação de substâncias seguido de seu transporte pode ocorrer em pequenos períodos associado ao ritmo do pulso de inundação, por exemplo, no caso da produção de matéria orgânica na planície de inundação, ou no intervalo de centenas ou milhares de anos como no caso do transporte de sedimentos. Durante o período de vazante, os corpos d´água lênticos são sistemas lacustres e acumulativos. Conforme o nível de água do rio sobe, estes ambientes assumem a função de reservatórios; entretanto, durante o período de cheia podem se tornar canais de transporte de água (Junk, 1997).

É nesse contexto que se insere este trabalho que tem como objetivo principal estimar a área de expansão dos lagos em função dos pulsos de inundação e da dinâmica sazonal do Rio Amazonas, a partir da aplicação das técnicas de Sensoriamento Remoto.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo selecionada para esta pesquisa compreende a faixa da planície de inundação do Rio Amazonas, que se estende do rio Madeira, a oeste, ao rio Tapajós a leste; seus limites situam-se entre os paralelos 01º 20' e 04º 00' de latitude sul e os meridianos 59º 00' e 54º 25' de longitude oeste (Figura 1).

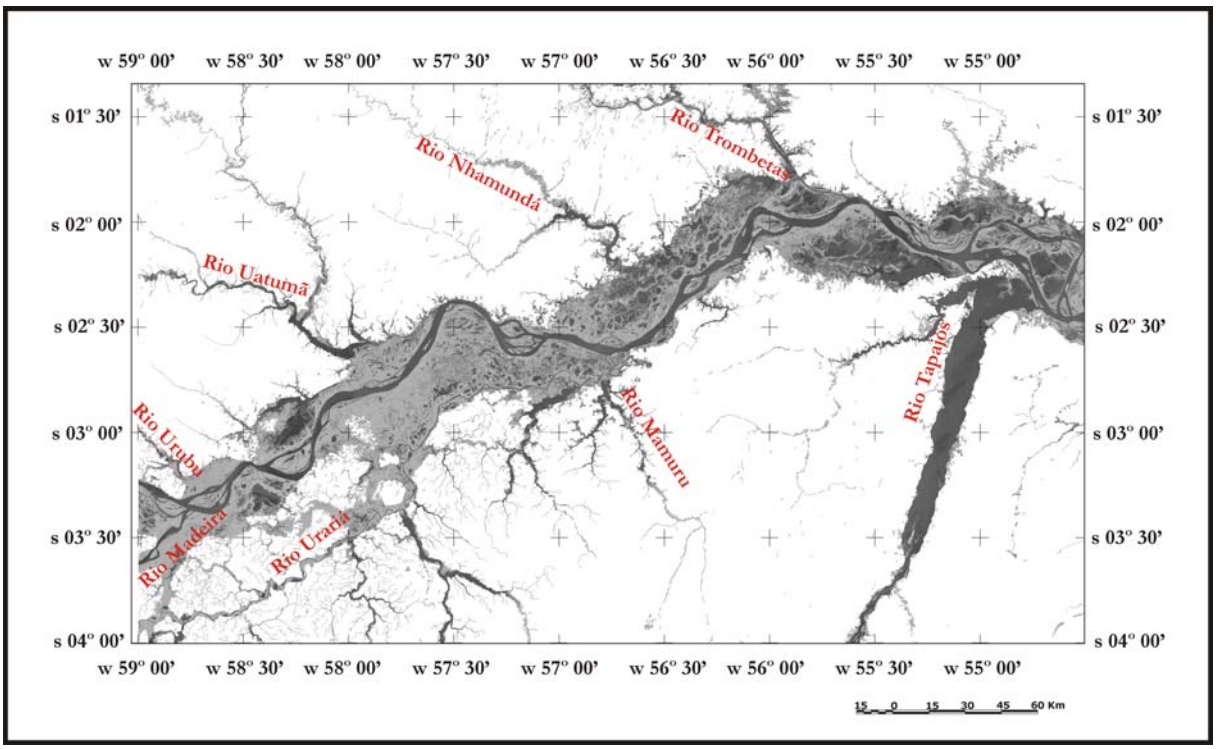

Figura 1. Área de Estudo.

Segundo Silva et al., (1976) esta área é caracterizada como uma planície fluvial inundável sujeita ao regime sazonal de águas do rio Amazonas. A **planície fluvial inundável** são as áreas alagadas apenas no período das enchentes. As oscilações do nível dos rios da planície Amazônica apresentam-se em geral como um ciclo monomodal de inundação, com um período regular de águas altas e outro de águas baixas (Junk e Krambeck, 2000). As flutuações no nível da água, são uma importante função de força que dirige o funcionamento ecológico, hidrológico, físico, químico e biológico do sistema (Tundisi et al., 2002). Durante o período de nível baixo da água, a região da planície de inundação é seca, com apenas lagos permanentes remanescendo. Durante os períodos de enchentes e de nível alto dos rios, todo o sistema sofre inundação (Tundisi et al., 2002).

Estas oscilações do nível d´água decorrente dos pulsos de inundação exerce influência na ecologia dos ecossistemas alagáveis específicos da região amazônica pois implicam no acréscimo/redução da área ocupada por "paranás", "furos", "igarapés", vales fluviais com oz afogada ou "rias" fluviais, lagos com forma e gênese diferenciadas, diques aluviais e canais, áreas de inundação e constantemente alagadas como brejos e "igapós", cursos fluviais anastomosados com numerosas ilhas, além de outros (Junk, 1989).

MÉTODOS e TÉCNICAS

A metodologia desta pesquisa pode ser dividida nas seguintes etapas de trabalho: (1) importação dos dados para o aplicativo SPRING; (2) composição colorida das imagens multi-sensor; (3) processamento digital das imagens; (7) álgebra de mapas e (7) análise dos resultados.

Para a realização desta pesquisa foram utilizadas: (1) duas sub cenas do mosaico JERS -1 do GRFM – Mapeamento Global de Florestas Alagáveis - uma correspondente à época de vazante (Agosto – Setembro/1995) e outra ao período de cheia (Maio – Agosto/1996) e (2) duas cenas adquiridas pelo sensor MODIS/Terra - produto MOD09 referente a reflectância de superfície – uma imagem correspondente à época de cheia (Agosto/2001) e outra ao período de vazante (Setembro/2001). As características das imagens estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Características das imagens do mosaico JERS – 1.

Data	Sensor	Banda/Polarização	Ângulo Incidência	Resolução Espacial
08-09/1995	SAR/JERS-1	L/HH	34° - 43°	100 m
05-08/1996	SAR/JERS-1	L/HH	34° - 43°	100 m

Tabela 2. Características das imagens MODIS.

Data	Sensor	Tile	Bandas	Resolução Espacial
06/08/2001	MODIS	H12V9	Vermelho (1) Infravermelho Próximo (2)	250 m
16/09/2001	MODIS	H12V9	Vermelho (1) Infravermelho Próximo (2)	250 m

Utilizou-se o software SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas) na construção do banco de dados geográfico e na integração de todas as informações disponíveis da área de estudo. O sistema SPRING possui um módulo de processamento de imagens, que inclui algoritmos de segmentação, e integra dados no formato raster e vetorial em um mesmo ambiente (Barbosa et al., 2000).

O software MRT Modis Tool (Modis Reprojection Tools) <http://edcdaac.usgs.gov/tools/modis/> possibilitou converter a projeção cartográfica, das imagens MOD09 referentes às épocas de cheia, e vazante assim como, reamostrar as imagens de 250 m para 100 m.

Descreve-se à seguir a sequência metodológica utilizada:

(1) Importação dos dados para o aplicativo SPRING

As sub-cenas dos mosaicos GRFM da Bacia Amazônica e as imagens MODIS referentes à área de estudo foram importados para o sistema SPRING onde foram realizadas as etapas de processamento das imagens.

(2) Composição colorida das imagens multi-sensor

O objetivo da integração das imagens MOD09/MODIS-TERRA e SAR/JERS-1, e da geração das composições coloridas multi-sensor, foi o de combinar os diferentes conteúdos de informação obtidos das imagens ópticas e de radar para otimizar o mapeamento dos sistemas lacustres.

Na geração das composições coloridas, as imagens SAR, banda L, foram associadas à cor verde (G). Já as cores vermelho (R) e azul (B) foram associadas às bandas 1 e 2 do sensor MOD09 do satélite Terra, respectivamente. Este procedimento foi realizado para ambas épocas (vazante e cheia).

(3) Processamento digital das imagens multi-sensor

Esta etapa consistiu nas seguintes sub-etapas: (1) recorte das imagens; (2) segmentação; (3) classificação e (4) edição matricial.

5.1 RECORTE DAS IMAGENS

Os mosaicos GRFM /JERS -1 e as imagens MODIS da área de estudo, referentes à época de cheia e de vazante, foram recortadas por meio da máscara de áreas alagáveis produzida por Hess et al., 2003. O uso dessa máscara permitiu suprimir a terra firme (área não-alagável) da área de estudo, otimizando o tempo de processamento da segmentação e determinação de parâmetros adequados para a segmentação das imagens com objetivo de mapear áreas de água aberta.

5.2 SEGMENTAÇÃO

Nas imagens recortadas, foi aplicada a técnica de segmentação. A segmentação de imagens é uma tarefa básica no processo de análise de imagens: a imagem é particionada em regiões que devem corresponder às áreas de interesse da aplicação. Entende-se por regiões um conjunto de pixel contíguos, que apresentam uniformidade em relação a um dado atributo, tais como nível de cinza, parâmetros estatísticos e textura (Bins et al., 1996).

O método de segmentação utilizado nesta pesquisa foi o de “crescimento de regiões”. Esse método foi aplicado com o objetivo de compor segmentos específicos para as áreas de água aberta, separando-as das áreas alagáveis. A técnica por crescimento de regiões é um processo interativo pelo qual os pixels vão sendo agrupados segundo algum critério de similaridade, formando regiões (Bins et al., 1996).

Para iniciar este processo, o usuário deve fornecer dois limiares: similaridade e área mínima. A similaridade define a diferença mínima entre o valor de um pixel e o valor médio da região contígua a ele, para que este pixel possa ser agrupado a esta região. Se a diferença entre o valor de pixel e a média da região vizinha for maior que o valor de similaridade definida pelo usuário, o pixel não será agrupado a aquela região. A área mínima define o menor tamanho de região permitida pelo usuário, ou seja, não haverá regiões com área em pixel menor do que o valor definido pelo usuário (Barbosa et al., 2000).

5.3 CLASSIFICAÇÃO

Após a execução do processo de segmentação, realizou-se a classificação das imagens. A classificação não supervisionada, na qual o algoritmo de classificação avalia em que classe alocar cada região em função de seus atributos estatísticos, de média, matriz de covariância, e também pela área se mostrou mais eficiente neste experimento, devido: (1) à grande variabilidade de ambientes; (2) tipos de cobertura dentro da área de estudo e (3) insuficiência de dados de campo.

Em uma classificação não-supervisionada, o usuário deve fazer uma identificação a posteriori das classes resultantes. Uma análise visual das imagens originais, do resultado de classificação e de informações adicionais disponíveis para algumas áreas, permite esta identificação (Barbosa et al., 2000). A técnica de classificação não-supervisionada, para classificar regiões de uma imagem segmentada, utilizada nesta pesquisa é denominada ISOSEG.

5.4 EDIÇÃO MATRICIAL

Realizou-se o processo de edição matricial para corrigir os erros do mapeamento, resultantes da aplicação da técnica de processamento automático adotado. Anteriormente a este processo, realizado na tela do computador, foi gerada uma grade para: (1) fixar a escala de interpretação (1:150.000) e; (2) orientar espacialmente o processo de edição.

Para o período de vazante foi editada apenas a classe água aberta. Já para o período de cheia, devido ao fato dos lagos estarem cobertos por vegetação flutuante foi necessário editar as classes água aberta e água + vegetação.

(4) Álgebra de mapas

Para identificar as disparidades entre as máscaras de sistemas lacustres (cheia e vazante) geradas, utilizou-se uma operação booleana que permitiu cruzar os planos de informação cheia versus vazante. As funções booleanas utilizam operadores lógicos (booleanos) e permitem realizar cruzamentos entre dois ou mais planos de informação (Câmara et al., 1998). As operações lógicas utilizadas neste trabalho foram: (1) A AND B que retorna todos os elementos contidos na intersecção entre A e B, ou seja, foram retornados todos os lagos identificados tanto na imagem de cheia quanto na imagem de vazante e; (2) A NOT B que retorna somente os elementos contidos exclusivamente em A, ou seja, todos os lagos identificados somente na imagem de cheia. O resultado foi o Mapa da Área de Expansão dos Lagos, decorrente da dinâmica sazonal do Rio Amazonas.

(5) Análise dos resultados

Após o processamento dos dados, e produção final do mapa da área de expansão dos lagos, foi realizado o cálculo da área (Km^2). O cálculo da área mapeada foi executado pelo software SPRING, Geo-Class (Km x Km).

Para facilitar a análise dos resultados foram gerados, com o software Excel, gráficos da área (KmxKm) e do número total de lagos para cada classe morfológica identificada. Estes gráficos permitiram uma melhor observação da variação na caracterização morfológica dos lagos devido à influência dos pulsos de inundação.

RESULTADOS

A fim de descrever os resultados obtidos nesta pesquisa serão apresentados os procedimentos e produtos gerados a partir do tratamento das imagens de satélite. Estes produtos apresentam os resultados e os objetivos atingidos para a presente pesquisa.

A escolha dos melhores limiares de segmentação é realizada de maneira empírica, a partir dos vários testes realizados que indicaram a necessidade do uso de limiares diferentes nas imagens referentes a cada época estudada. A individualização das feições, durante o processo de segmentação, é influenciada por: (1) características dos dados de sensores; (2) data da coleta dos dados; (3) características da área de estudo e (4) parâmetros de processamento de imagens definidos. Por isso a definição dos melhores limiares é realizada de maneira iterativa. A Tabela 3 apresenta os melhores resultados de limiares aplicados na segmentação das imagens.

Tabela 3. Melhores resultados de limiares aplicados na segmentação das imagens.

Época	Limiar de similaridade	Limiar de área
Vazante	8	50
Cheia	5	50

Logo após a execução do processo de segmentação efetuou-se a classificação não-supervisionada ISOSEG das imagens. O classificador ISOSEG é um dos algoritmos disponíveis no SPRING para classificar regiões de uma imagem segmentada. É um algoritmo que procura agrupar regiões, a partir de uma medida de similaridade entre elas e utiliza os atributos estatísticos das regiões: a matriz de covariância e o vetor de média, para estimar o valor central de cada classe (Bins et al., 1996). A medida de similaridade utilizada consiste na distância de Mahalanobis entre a classe e as regiões candidatas à relação de pertinência com esta classe. Para maiores informações a respeito deste algoritmo o leitor poderá consultar como referência Bins et al., 1996.

Dos vários testes de limiares aplicados na classificação ISOSEG das imagens da área de estudo, optou-se pelo uso do limiar de aceitação 95% considerado o mais adequado para os

objetivos deste trabalho, tanto para a época de cheia quanto para a de vazante. Uma imagem binária com os temas água e não-água, para cada época (cheia e vazante), foi gerada a partir do agrupamento das classes.

O processo de edição matricial, realizado nas imagens binárias (água e não-água), permitiu corrigir os erros do mapeamento, resultantes da aplicação da técnica de processamento automático adotado e possibilitou gerar as máscaras com a distribuição de lagos no período de cheia e de vazante. Estas máscaras, a partir da álgebra de mapas, tornaram possível gerar o mapa da área de expansão dos lagos devido à dinâmica sazonal do Rio Amazonas.

O Mapa da área de expansão dos lagos devido à dinâmica sazonal do Rio Amazonas permitiu realizar uma análise quantitativa da área de expansão destes ambientes devido aos pulsos de inundação.

A Figura 2 mostra a porcentagem de área ocupada pelos lagos e sua expansão. Esta expansão exerce grande influencia na ecologia de outros ecossistemas alagáveis pois implica na redução da área ocupada por florestas, campos inundáveis, chavascais e outros ambientes. Se analisada apenas a classe de lagos observa-se que houve uma expansão de aproximadamente 18% entre o período de cheia e vazante, em relação à área ocupada pelos lagos na época de vazante (5.115,28 Km^2) e de 22% de expansão em relação à área ocupada pelos lagos na época de cheia (6.267,73 Km^2).

Figura 2. Porcentagem de área ocupada pelos lagos e sua expansão em relação à área total de estudo.

Segundo Junk, 1997 durante o curso de um ciclo de inundação, um terreno baixo pode estar sujeito a condições que são típicas de um habitat terrestre úmido, um corpo d´água raso, um lago, e um canal de rio. Quando ocorre o recuo d´água este tipo de terreno está sujeito a uma transição inversa.

É importante salientar que, tendo em vista a resolução espacial dos produtos utilizados e os limiares adotados no processo de classificação, essas estatísticas se restringem a lagos com área superior a 0,01 Km^2.

Neste sentido, cabe destacar os resultados obtidos por França et al. (2004), ao avaliar o efeito da degradação da resolução de imagens do RADARSAT de 25 m para 100m. Estes autores verificaram que: (1) houve uma grande redução no total de lagos presentes na área de estudo devido à degradação da resolução espacial de 25 m (1131 lagos) para 100 m (176 lagos); (2) as maiores reduções foram para os lagos crescentes e circulares/ovais; 90,4% e 85,45%, respectivamente e; (3) a relação entre o número total de lagos presentes e a área ocupada pelos mesmos não é proporcional.

Estes resultados, demonstram a necessidade de avaliar nas imagens JERS-1 a perda de informação, no mapeamento e conseqüentemente na análise quantitativa das morfologias

lacustres, em decorrência da degradação da resolução espacial aplicada às imagens JERS-1 na montagem do mosaico GRFM.

CONCLUSÕES

Em função dos resultados obtidos nesta pesquisa pode-se afirmar que a integração de imagens de sensores de microondas e óptico é tecnicamente viável para estudos de sistemas lacustres e áreas alagáveis. As composições multi-sensor referentes as épocas de cheia e vazante permitiram gerar máscaras dos sistemas lacustres e consequentemente o mapa da área de expansão dos lagos.

Estes produtos possibilitaram o cálculo da área que os sistemas lacustres ocupam dentro da área alagável do Rio Amazonas no trecho estudado tanto para a época de cheia, 6.267,73 Km^2 (22%), quanto para a época de vazante, 5.115,28 Km^2 (18%). Assim como, possibilitaram o cálculo da área de expansão dos lagos.

Na análise dos resultados verificou-se que, a área de expansão dos lagos estimada em função da dinâmica sazonal do Rio Amazonas foi de 18% de expansão em relação à área ocupada pelos lagos na época de vazante (5.115,28 Km^2) e de 22% de expansão em relação à área ocupada pelos lagos na época de cheia (6.267,73 Km^2).

REFERÊNCIAS

Anderson, O. L; Latorre, M. L.; Shimabukuro, Y. E.; Arai, E.; Carvalho Jr, O. A. Sensor MODIS: Uma abordagem geral. São José dos Campos: INPE, 2003. 54 p. **(INPE-10131-RPQ/752)**

Barbosa, C.; Hess L.; Melack J.; Novo E. M. L. M. Mapping amazon basin wetlands through region growing segmentation and segmented-based classification JERS-1 data. **Anais IX Simpósio Latino Americano de Percepcion Remota y Sistemas de Informacion Espacial**. 2000. p. 1165-1176.

Bins, L. S.; Fonseca, L. M. G.; Erthal, G. J.; Mitsuo II, F. Satellite Imagery Segmentation: A region Growing Approach. **Anais VII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Salvador. Brasil, 1996.

Forsberg, B. R; Hashimoto, Y; Roseqvist, A.; Miranda, F. P. Tectonic falt control of wetland distributions in the Central Amazon revealed by JERS-1 radar imagery. **Quaternary International**, v. 72, p. 61-66, 2000.

França, A. M. S.; Florenzano, T. G.; Novo, E. M. L. M. Mapeamento e estimativa de classes fluviais geomorfológicas usando imagens de Radar. In: **Anais XI Simposio Latinoamericano sobre percepcion remota y sistemas de informacion espacial**. Santiago - Chile: SELPER, 2004.

Golding, M.; **Amazon: the Flooded Forest**. New York: Sterling Pub. Co. Inc., 1990. 208 p.

Gouding, M.; Carvalho, M. L.; Ferreira, E. G. Rio Negro: Rich Life in a Poor Water. **SPB Academic Publishing, The Hague**, 1998.

Hess, L. L.; Melack, J. M.; Novo, E. M. L. M.; Barbosa, C. C. F.; Gastil, M. Dual-Season Mapping of Wetland Inundation and Vegetation for the Central Amazon Basin. **Remote Sensing of Environment**, nº 87. p. 404-428, 2003.

Junk, W. J.; Investigation of the ecology and production-biology of the Floating meadows Paspalo-Echnochloetum on the Middle Amazon. II. The aquatic fauna in the root zone of floating vegetation. **Amazoniana**, v. 4, p. 9-112, 1973.

Junk, W. J. As águas da Bacia Amazônica. In:Salati, E.; Junk, W. J.; Shubart, H. O. R.; Oliveira, A. E. **Amazônia: desenvolvimento, integração e ecologia**. São Paulo: Brasiliense, 1983. Cap. II, p. 45-100.

Junk, W. J. Flood tolerance and tree distribution in central Amazonian floodplains. In:Holm-Nielsen, L. B.; Nielsen, I. C.; Balslev, H. **Tropical forest: botanical dynamics, speciation and diversity**. New York: Academic Press, 1989. p. 47-64.

Junk, W. S.; Weber, G. E. Amazonian Floodplains: a limnological perspective. **Verth Int Ver Limnol.** v. 26, p. 149-157, 1996.

Junk, W. J. **The Central Amazon Floodplain - Ecology of a Pulsing System**. Verlag Berlin Heidelberg New York: Springer, 1997. 525 p.

Junk, W. J.; Krambeck, H. Climate and Hydrology. In:Junk, W. J.; Piedade, M. T. F.; Soares, M. G. M. **The Central Amazon Floodplain: Actual Use and Options for a Sustainable Management**. Leiden: Backhuys Publishers, 2000. Cap. 5, p. 95-108.

Justice, C. O.; Vermote, E., Townshend, J. R. G., Defries, R., Roy, P. D., Hall, D. K., Salomonson, V., Privette, J. L., Riggs, G., Strahler, A., Lucht, W., Myneni, B., Knyazikhin, Y., Running, W. S., Nemani, R. R., Wan, Z., Huete, A. R., Leeuwen, W. V., Wolfe, R. E., Giglio, L., Muller, J. P., Lewis, P., Barnsley, M. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,** v. 36, n. 4, p. 1228-1247, jul. 1998.

Melack, J. M. Amazon floodplain lakes: Shape, fetch, and stratification. **Verth. Internat. Verein. Limnol.** v. 22, p. 1278-1282, Oct. 1984.

Novo, E. M. L. M.; Shimabukuro, Y. E.; Mertes, L. O rio Amazonas em mosaico. **Ciência hoje**, v. 24, n. 144, p. 59-61, Nov. 1998.

Sieppel, S. J.; Hamilton, S. K.; Melack, J. M. Inundation area and morphometry of lakes on the Amazon River floodplain. **Arch. Hydrobiol**. v. 123, p. 385-400, 1992.

Silva, G. G. et al. Folha SA-21 Santarém. **Projeto RADAM.** Rio de Janeiro. DNPM. Recursos Naturais. v. 10, 1976.

Townshend, J. R.G.; Justice, C.O. Towards operational monitoring of terrestrial systems by moderate-resolution remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, p. 351-359, 2002.

Tundisi, J. G.; Tundisi, T. M.; Rocha, O. Ecossistemas de Águas Interiores. In:Rebouças, A. c.; Braga, B.; Tundisi, J. G. **Águas Doces no Brasil - Capital Ecológico, Uso e Conservação.** São Paulo: Escrituras Editoras, 2002. Cap. 5, p. 153-194.